



## Kenyamanan Termal Ruang Kelas Melalui *Building Information Modeling (BIM)*

### *Thermal Comfort of Classrooms Through Building Information Modeling (BIM)*

Kharista Astrini Sakya<sup>1\*</sup>, Anjar Primasetra<sup>2</sup>

Program Studi Desain Interior, FSRD, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia<sup>1</sup>

Program Studi Doktor, SAPPK, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia<sup>2</sup>

\*Corresponding author [kharistasakya@gmail.com](mailto:kharistasakya@gmail.com)

#### Article history

Received: 09 April 2023

Accepted: 18 Aug 2023

Published: 31 Oct 2023

#### Abstract

*Thermal comfort is determined by the thermal environment, personal factors and other factors. Thermal comfort can affect the state of the user in it, such as in the classroom. The purpose of this study was to identify the thermal comfort of students in the classroom and conduct interventions. Classroom users are final year Interior Design students who use the classroom for approximately 8 hours every day. Therefore, the thermal comfort of the classroom is very important to support the student learning process. The method used is observation and simulation. Making classroom simulations using Building Information Modeling (BIM) technology, then analyzing them through Comfort Temperature and Predicted Mean Vote. The results show that the thermal comfort of students in the classroom is identified as having poor thermal quality. The results of the intervention show that alternative 2 class A is a classroom that has a better quality of thermal comfort than the other alternatives.*

**Keywords:** *thermal comfort; classroom; college student; Building Information Modeling; interior design.*

#### Abstrak bahasa Indonesia

Kenyamanan termal ditentukan oleh lingkungan termal, faktor pribadi, dan faktor lain. Kenyamanan termal dapat mempengaruhi keadaan pengguna di dalamnya, seperti pada ruang kelas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kenyamanan termal mahasiswa pada ruang kelas dan melakukan intervensi. Pengguna ruang kelas adalah mahasiswa Desain Interior tingkat akhir yang setiap hari menggunakan ruang kelas selama kurang lebih 8 jam. Maka dari itu, kenyamanan termal ruang kelas sangat penting untuk mendukung proses pembelajaran mahasiswa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan komparasi kenyamanan termal dari kedua studi kasus dan memberikan solusi desain terkait dengan kenyamanan termal ruang kelas yang dirasakan oleh mahasiswa. Metode yang digunakan adalah observasi dan simulasi. Pembuatan simulasi ruang kelas menggunakan teknologi *Building Information Modeling* [BIM], lalu dianalisis melalui *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote*. Hasil menunjukkan bahwa kenyamanan termal mahasiswa di ruang kelas teridentifikasi memiliki kualitas termal yang kurang baik. Hasil intervensi menunjukkan bahwa alternatif 2 kelas A adalah ruang kelas yang memiliki kualitas

kenyamanan termal yang lebih baik daripada alternatif yang lain.

**Kata kunci:** kenyamanan termal; ruang kelas; mahasiswa; *Building Information Modeling*; desain interior.

**Cite this as:** Sakya, K.A, Primasetra, A, (2023). Identifikasi Kenyamanan Termal Mahasiswa di Ruang Kelas Melalui Building Information Modeling [BIM]. *Article. Arsitektura : Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, 21(2), 275-284. doi:<https://doi.org/10.20961/arst.v21i2.72971>

## 1. PENDAHULUAN

Seseorang menghabiskan hingga 90% waktu mereka di dalam gedung sehingga kualitas lingkungan dalam ruangan memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas hidup mereka (Arif, Katafygiotou, dkk., 2016). Kenyamanan termal didefinisikan oleh *American Society of Heat, Refrigeration, and Airconditioning Engineers* (ASHRAE) sebagai kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal (ASHRAE, 2017). Kondisi termal dalam ruangan di gedung dapat diterima ketika 80% penghuni gedung merasa puas dan nyaman berada di dalamnya (ASHRAE, 2017). Kenyamanan termal ditentukan oleh lingkungan termal, faktor pribadi, dan faktor lain yang berkontribusi (Fanger, 1970). Faktor lingkungan meliputi suhu udara, kecepatan udara, kelembaban, dan radiasi (Ormandy & Ezratty, 2016), sedangkan pakaian dan aktivitas (tingkat metabolisme) dikategorikan sebagai faktor pribadi (Havenith, Holmér, dkk., 2002). Oleh karena itu, penting sekali untuk memperhatikan kenyamanan termal di dalam ruang.

Menurut KepMenKes No. 829/ Menkes/ SK/ VII/1999, standar kenyamanan untuk suhu ruang kelas berkisar antara 18°C–30°C. Sementara itu, standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001 mengenai tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia terdiri dari tiga bagian, yaitu:

- Sejuk nyaman, temperatur 20,5°C-22,8°C
- Nyaman optimal, temperatur 22,8°C-25,8°C
- Hangat nyaman, temperatur 25,8 °C-27,1°C

Suhu ruang kelas yang terlalu panas dapat menimbulkan gangguan penyakit, di antaranya adalah *heat cramps*, *heat exhaustion*, *heat stroke*, dan *heat rush*. Sementara itu, suhu yang terlalu dingin dapat menimbulkan penyakit *chilblain*, *trech foot*, dan *fross bite*.

Ruangan yang panas atau lembap dapat menimbulkan reaksi-reaksi psikologis dari seseorang. Bagi penghuni ruang, ketidaknyamanan fisik (berkeringat/evaporasi, cepat lelah, kurang oksigen sehingga menjadi mudah mengantuk) dan mental (munculnya berbagai jenis sugesti negatif) dapat terjadi apabila kenyamanan termal beralih dari kondisi normal menjadi kondisi tidak normal (Sarinda, 2017). Jika suhu bangunan di dalam ruangan berada dalam batas kenyamanan yang ditentukan, maka bangunan dikatakan nyaman dan dianggap hemat energi (Ponni, 2015). Kenyamanan termal adalah salah satu aspek yang paling penting dari kepuasan pengguna dan konsumsi energi di dalam bangunan (Nicol dkk., 2012). Oleh karena itu, kenyamanan termal pengguna ruang perlu diperhatikan agar tidak menimbulkan penyakit fisik maupun psikis.

Gedung *Center of Arts, Design and Language* (CADL) Institut Teknologi Bandung terdiri dari tujuh lantai. Material bangunan pada keempat sisi dinding sebagian besar menggunakan kaca pada sisi fasad gedung dan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap jumlah sinar matahari yang masuk. Semakin tebal dan gelap warna kaca, semakin rendah angka *solar factor* kaca dan semakin kecil penerimaan radiasi panas matahari. Sebaliknya, semakin tipis dan cerah warna kaca maka penerimaan panas yang masuk ke dalam bangunan semakin tinggi (Octarino, 2021).

Material insulasi untuk atap yang baik menurut The ATLAS Project adalah *Polyurethane* (PUR), *Polyurethane expanded polystyrene* (EPS), *Extruded polystyrene* (XPS), dan *Rigid fiberglass* (The ATLAS Project (1997) dalam Papadopoulos, 2005). Sementara itu, material insulasi untuk dinding yang baik menurut adalah *Fibreglass*, *Rock wool*, serat yang ditiup dengan pengikat (*blown fibre with binder*), *Polyurethane* (PUR), *Polyurethane expanded polystyrene* (EPS), *Extruded*

*polystyrene (XPS)*, dan *Rigid fiberglass* (The ATLAS Project (1997) dalam Papadopoulos, 2005).

Lantai 7 Gedung CADL adalah lantai paling atas dan paling dekat bersinggungan dengan sinar matahari. Lantai 7 memiliki beberapa ruang kelas, di antaranya adalah ruang kelas A dan B yang didominasi dengan penggunaan material kaca pada sisi dindingnya. Pengguna ruang kelas A dan B adalah mahasiswa Program Studi Desain Interior. Proses pembelajaran mahasiswa dilakukan di dalam ruang kelas setiap hari selama kurang lebih delapan jam (mata kuliah studio perancangan). Pukul 08.00-16.00 keadaan termal kedua kelas terasa panas (28°C-35°C). Hal ini merupakan imbas dari banyaknya penggunaan material kaca sehingga mahasiswa yang duduk di dekat kaca terkadang merasa kurang nyaman. Menyediakan lingkungan yang nyaman dan sehat di ruang kelas diperlukan untuk kesejahteraan dan produktivitas siswa (Bellia dkk., 2010). Terdapat korelasi yang baik antara *setting* ruang kelas dengan kinerja dan kehadiran siswa (Mendell & Heath, 2005). Suhu yang hangat (di atas 24°C) cenderung menurunkan kinerja siswa (Mendell & Heath, 2005). Oleh karena itu, pentingnya penelitian ini adalah untuk membantu membuat kenyamanan termal mahasiswa di dalam kelas dan memberikan alternatif solusi desain agar dapat mendukung proses pembelajaran menjadi lebih efektif. Jika lingkungan belajar tidak mendukung, proses penyampaian informasi dan kinerja mahasiswa tidak dapat tercapai secara optimal.

Penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi kenyamanan termal ruang kelas menggunakan teknologi simulasi *Building Information Modeling (BIM)*, sehingga dapat diketahui daya dukung ruang kelas tersebut terhadap proses pembelajaran mahasiswa dari segi kenyamanan termal. Data dari dua ruang kelas tersebut dibandingkan dengan menggunakan model *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote*. *Comfort temperature* adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal (ASHRAE, 2017). *Predicted Mean Vote (PMV)* merupakan salah satu persamaan empirik untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal manusia pada lingkungan tertentu

(Fanger, 1970). Berdasarkan teori kenyamanan termal (The ATLAS Project, 1997) mengenai material insulasi yang baik, ruang kelas kondisi eksisting dilakukan intervensi sebanyak dua alternatif. Tujuannya adalah melihat adanya perbedaan kenyamanan termal pada kedua ruang kelas tersebut seligus memberikan solusi desain terkait kenyamanan termal mahasiswa. Simulasi kenyamanan termal biasanya dilakukan dengan menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamic) dengan menggunakan beberapa software seperti FLUENT, TRNSYS, VENTILA, Autodesk CFD, dan lain sebagainya, seperti yang pernah dilakukan oleh (Tahang 2016);(Attaufiq 2015); (Raczowski, Suchorab, and Brzyski 2019); (Gautam and Mohan 2018). Namun demikian, metode tersebut tidak terintegrasi dengan desain, dalam arti antara proses pembuatan desain dan simulasi berjalan sendiri-sendiri. Proses ini dirasa kurang efektif dan efisien jika dibandingkan dengan metode BIM yang mampu mengintegrasikan dan mengkolaborasikan proses desain dan proses simulasi kenyamanan termal. Penelitian tentang metode BIM untuk kenyamanan termal pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti terdahulu. Penelitian tentang penggunaan BIM untuk melakukan simulasi thermal comfort contohnya pada penelitian yang dilakukan oleh (Rahadian and Sulistiawan 2020) yang menggunakan BIM untuk melakukan evaluasi kenyamanan termal pada bangunan yang telah terbangun. Namun penelitian ini tidak dilakukan untuk mencapai solusi kenyamanan termal yang paling optimal, namun lebih kepada evaluasi kenyamanan termal pada bangunan yang telah dibangun sebelumnya. Selain itu, (Amoruso, Dietrich, and Schuetze 2019) juga telah melakukan penelitian tentang metode BIM yang digunakan untuk melakukan simulasi kenyamanan termal. Namun penelitian tersebut berbasis pada pencapaian alur kerja atau workflow dan merumuskan kriteria-kriteria yang akan digunakan dalam simulasi kenyamanan termal, bukan berfokus pada penemuan solusi hasil perancangan. Selain itu juga, kasus yang dilakukan adalah pada bangunan, bukan pada ruang interior yang spesifik. Kebaruan penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi *Building*

*Information Modeling*, dapat memberikan simulasi yang mendekati dengan kondisi aslinya sebelum material tersebut benar-benar diterapkan pada bangunan ruang kelas.

## 2. METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu observasi dan simulasi. Observasi dilakukan untuk mengetahui secara pasti mengenai layout, ukuran, material, dan keadaan desain interior ruang kelas, sedangkan simulasi dilakukan menggunakan *Building Information Modeling*. Penelitian ini terdiri dari dua tahap. Tahap pertama yaitu membuat data kenyamanan termal dari 2 ruang kelas dan dikomparasikan menggunakan model *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote*. Tahap kedua yaitu pada kondisi eksisting kedua ruang kelas dilakukan intervensi sebanyak 2 alternatif untuk melihat apakah ada perbedaan kenyamanan termal pada kedua ruangan.

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di ruang kelas Program Studi Desain Interior, Gedung CADL (Center of Arts, Design and Language) lantai 7, ruang kelas A dan B, Institut Teknologi Bandung. Material pada fasad bangunan didominasi dengan kaca jendela. Alasan pemilihan lokasi di CADL ITB pada lantai 7 adalah karena kedua ruang kelas mempunyai bidang yang terkena paparan sinar matahari paling banyak dibandingkan dengan ruang kelas pada lantai lain. Alasan lainnya adalah untuk mengidentifikasi kenyamanan mahasiswa Desain Interior ketika proses pembelajaran studio perancangan yang berlangsung setiap hari selama 8 jam.

### 2.2. Pengolahan dan Analisis Data

Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dilakukan untuk mensimulasikan keadaan termal ruang kelas. *Building Information Modeling* adalah representasi digital dari fisik dan karakteristik fungsional suatu fasilitas (NBIMS, 2012). Dengan menggunakan *Building Information Modeling*, dibuat pula model *Comfort Temperature* (CT) dan *Predicted Mean Vote* (PMV) pada masing-masing kelas.

Analisis simulasi menggunakan software *Autodesk Revit* dengan *Plugin Lighting*

*Analysis*. Analisis ini berfungsi untuk melihat secara kualitatif kualitas cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang kelas dan juga melalui kuantitatif dengan cara melihat nilai *lighting daylight factor*-nya, sehingga keadaan termal kedua ruang kelas tersebut dapat diketahui secara rinci.

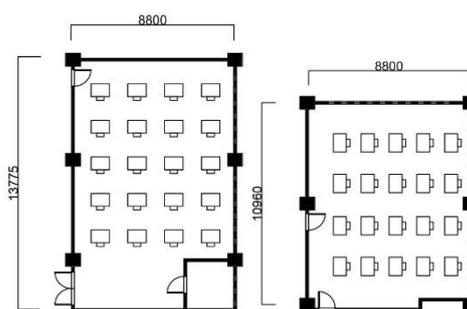
### 2.3 Indikator CT dan PMV

CT mensimulasikan kenyamanan termal ruangan. Grafik berwarna biru menunjukkan semakin dingin, grafik berwarna oranye menunjukkan semakin panas keadaan termal ruang. PMV mengindikasikan sensasi dingin dan hangat yang dirasakan oleh manusia dengan tujuh skala, yakni -3 (sangat dingin), -2 (dingin), -1 (sejuk), 0 (netral), +1 (hangat), +2 (panas), serta +3 (sangat panas). Nilai nol adalah netralitas termal, bukan kenyamanan termal.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi terdiri dari denah (gambar 1) dan foto ruang kelas A dan B eksisting (gambar 2). Hasil tahap pertama berupa data kenyamanan termal dari dua ruang kelas yang terdiri dari perbandingan analisis *Daylight Factor*, simulasi *solar access*, iluminasi, simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* pada kedua ruang kelas. Tahap kedua menghasilkan intervensi usulan 2 alternatif desain ruang kelas.

### 3.1 Denah Ruang Kelas A dan Ruang Kelas B



**Gambar 1.** Denah Ruang Kelas A (kiri), dan Denah Ruang Kelas B (kanan)

Ruang kelas A berukuran 13,7m x 8,8m x 3,8m (gambar 1 kiri). Sisi timur bangunan didominasi dengan jendela, sementara 3 sisi lainnya berupa dinding bata. Material langit-langit menggunakan *gypsumboard*, material

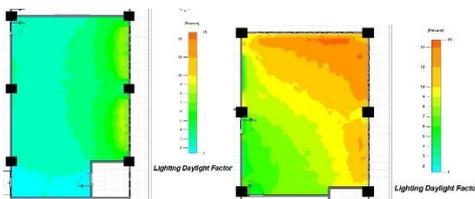
dinding menggunakan batu bata, dan material lantai menggunakan keramik. Ruang kelas berisi 20 meja dan 20 kursi mahasiswa. Pada pukul 08.00 hingga 16.00 rata-rata keadaan termal kelas A adalah 28°C-35°C.

Ruang kelas B berukuran 10,9m x 8,8m x 3,8m (gambar 1 kanan). Sisi utara dan timur bangunan didominasi dengan jendela, sementara 2 sisi lainnya berupa dinding bata. Material langit-langit menggunakan *gypsumboard*, material dinding menggunakan batu bata, dan material lantai menggunakan keramik. Ruang kelas berisi 20 meja dan 20 kursi mahasiswa. Pada pukul 08.00 hingga 16.00 rata-rata keadaan termal kelas B adalah 30°C-35 °C.

### 3.2 Hasil Tahap Pertama

Hasil tahap pertama terdiri dari analisis daylight factor ruang kelas A dan ruang kelas B, simulasi solar access, perbandingan iluminasi, simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Kelas A, simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Kelas B, Perbandingan hasil simulasi PMV antara kelas A dan B.

#### A. Analisis Daylight Factor Ruang Kelas A dan Ruang Kelas B



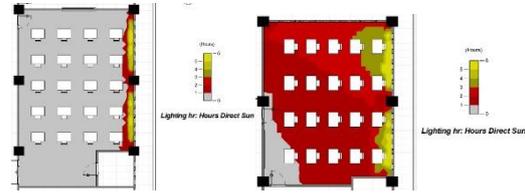
**Gambar 2.** Simulasi *Daylight Factor* ruang kelas A (kiri) dan ruang kelas B (kanan)

Kelas A (gambar 2 kiri): Analisis nilai *daylight factor* yang paling tinggi memiliki nilai 7-8. *Daylight factor* dengan nilai 1 atau nilai terendah merupakan nilai yang paling mendominasi ruang kelas A. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kualitas pencahayaan alami di ruang A memiliki kualitas yang kurang baik.

Kelas B (gambar 2 kanan): Analisis nilai *daylight factor* cenderung terang dengan *daylight factor* bervariasi antara 4-15. Kualitas pencahayaan alami pada ruang kelas B ini terindikasi baik. Namun demikian, ruang kelas B memiliki potensi untuk lebih panas dari

ruang kelas A sehingga berpotensi mempengaruhi kenyamanan termal pengguna ruangan.

#### B. Simulasi Solar Access

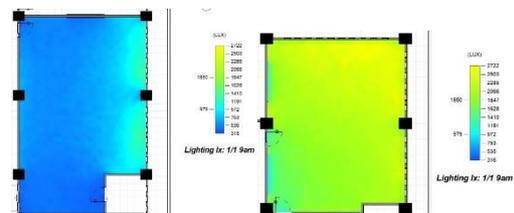


**Gambar 3.** Simulasi *Solar Access* ruang kelas A (kiri) dan ruang kelas B (kanan)

Kelas A (Gambar 3 kiri): Hasil simulasi *solar access* menunjukkan konsentrasi sinar matahari yang masuk ke dalam ruang kelas A berfokus pada area sekitar jendela saja dan tidak menyebar ke dalam bangunan secara baik. Hal ini dikarenakan jendela pada ruang kelas A hanya berada pada satu sisi dinding saja.

Kelas B (Gambar 3 kanan): Hasil simulasi *solar access* menunjukkan, konsentrasi sinar matahari yang masuk ke dalam ruang kelas B menyebar secara meluas ke dalam ruangan sekitar 90%. Hal tersebut dikarenakan ruang B memiliki 2 sisi jendela.

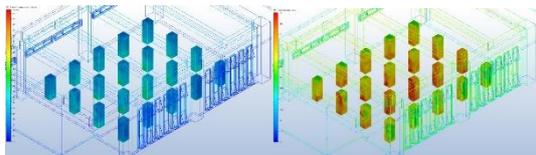
#### C. Perbandingan iluminasi antara kelas A dan Kelas B



**Gambar 4.** Simulasi iluminasi ruang kelas A (kiri) dan ruang kelas B (kanan)

Dari hasil simulasi (gambar 4), tingkat iluminasi Kelas B cenderung di atas 1847 lux, lebih tinggi daripada kelas A yang berkisar antara 316–1628 lux.

#### D. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Kelas A

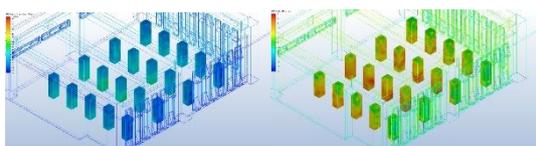


**Gambar 5.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas A

Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas A (gambar 5 kiri): Warna grafik dominan biru dengan kisaran suhu terendah 22°C dan suhu tertinggi 35°C.

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas A (gambar 5 kanan): Warna yang terlihat adalah oranye ke merah (range nilai 2-3), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang A cenderung panas.

#### E. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Kelas B



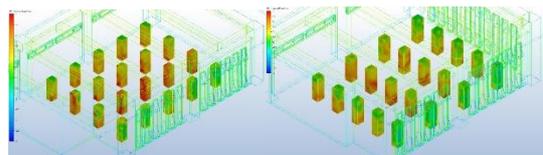
**Gambar 6.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas B

Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas B (gambar 6 kiri): Warna grafik dominan biru dengan kisaran suhu terendah 22°C dan suhu tertinggi 35-36°C.

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas B (gambar 6 kanan): Warna dominan oranye ke hijau (0-3), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang kelas B cenderung dingin, terutama di area dekat jendela. Ada kemungkinan angin yang masuk dari jendela ruang kelas B mengalirkan udara untuk mengurangi panas di dalam ruangan.

#### F. Perbandingan simulasi PMV antara kelas A dan B

Perbandingan hasil simulasi PMV antara kelas A dan B (gambar 7) memperlihatkan bahwa ada kemungkinan ruang kelas B eksisting lebih dingin daripada kelas A berdasarkan persepsi pengguna ruangan.



**Gambar 7.** Simulasi Perbandingan *Predicted Mean Vote* ruang kelas A (kiri) dan ruang kelas B (kanan)

Ruang kelas B memiliki dua buah sisi jendela yang memungkinkan untuk memasukkan udara alami melalui jendela tersebut. Ruang kelas A eksisting khususnya di bagian tengah ruangan menjadi titik yang memiliki kecenderungan suhu yang paling tinggi. Ada kemungkinan pergerakan angin di ruang kelas A cukup terbatas dengan lubang jendela yang lebih sedikit daripada kelas B.

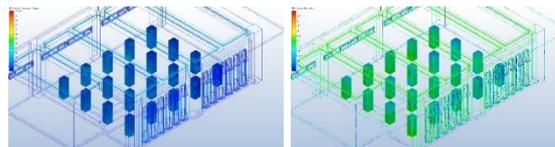
#### 3.3 Hasil Tahap Kedua (Intervensi)

Dari kondisi eksisting kemudian dilakukan intervensi untuk melihat apakah akan ada perbedaan temperatur dan kenyamanan termal pada kedua ruangan. Dibuat 2 kondisi intervensi dengan 2 alternatif:

1. Alternatif 1: Penambahan AC 2 PK sebanyak 4 buah dengan keadaan semua jendela tertutup. (Warg<sup>o</sup>Cki, 2006).
2. Alternatif 2: Penambahan material pada dinding (Beton aerasi dan Panel polystyrene) dan langit-langit (Phenolic foam, Polyurethane (PUR), Expanded polystyrene (EPS), Extruded polystyrene/ XPS. (The ATLAS Project (1997) dalam (Papadopoulos, 2005).

#### A. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Alternatif 1 Kelas A

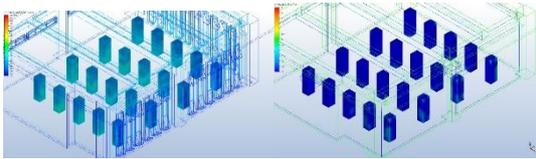
Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas A alternatif 1 (Gambar 8 kiri): Warna grafik dominan biru tua dengan kisaran suhu terendah 16 °C dan suhu tertinggi sekitar 19-20 °C.



**Gambar 8.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas A alternatif 1

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas A alternatif 1 (gambar 8 kanan): Warna yang terlihat adalah biru tua (-2 s/d -3), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang kelas A alternatif 1 cenderung dingin sekali (*cold*).

#### B. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Alternatif 1 Kelas B

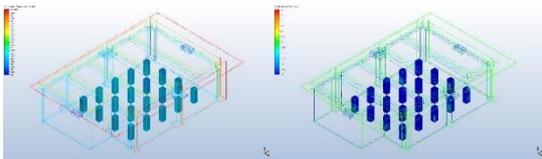


**Gambar 9.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas B alternatif 1

Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas B alternatif 1 (Gambar 9 kiri): Warna grafik dominan biru tua dengan kisaran suhu terendah 16°C dan suhu tertinggi sekitar 19-20°C.

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas B alternatif 1 (Gambar 9 kanan): Warna yang terlihat adalah biru tua (-2 s/d -3), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang kelas B alternatif 1 cenderung dingin sekali (*very cold*).

#### C. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Alternatif 2 Kelas A

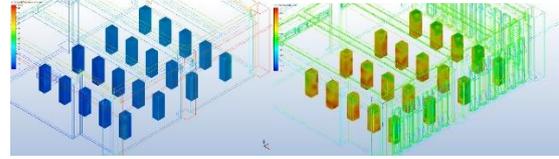


**Gambar 10.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas A alternatif 2

Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas A alternatif 2 (Gambar 10 kiri): Warna grafik dominan biru tua dengan kisaran suhu terendah 22°C dan suhu tertinggi sekitar 24°C.

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas A alternatif 2 (gambar 10 kanan): Warna yang terlihat adalah biru muda ke hijau (-1 s/d 0), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang kelas A alternatif 2 cenderung agak dingin (*slightly cold*) sampai dengan netral.

#### D. Simulasi *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* Alternatif 2 Kelas B

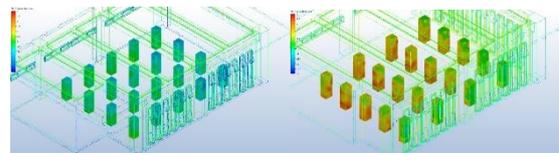


**Gambar 11.** Simulasi *Comfort Temperature* (kiri) dan *Predicted Mean Vote* (kanan) ruang kelas B alternatif 2

Hasil Simulasi *Comfort Temperature* pada kelas B alternatif 2 (gambar 11 kiri): Warna grafik dominan biru tua ke hijau dengan kisaran suhu terendah 22°C dan suhu tertinggi sekitar 32°C.

Hasil Simulasi *Predicted Mean Vote* (PMV) pada kelas B alternatif 2 (gambar 11 kanan): Warna yang terlihat adalah hijau ke oranye (0 s/d 3), maka rata-rata responden memiliki kecenderungan untuk berpersepsi ruang kelas B alternatif 2 cenderung agak netral ke panas. Adanya penambahan material dinding dan langit-langit tidak terlalu signifikan mengurangi temperatur pada ruangan ini. Kemungkinan jendela orientasi ke arah timur perlu ditutup untuk menurunkan temperatur suhu ruangan.

#### E. Perbandingan Simulasi *Predicted Mean Vote* antara kelas A dan B Alternatif 2

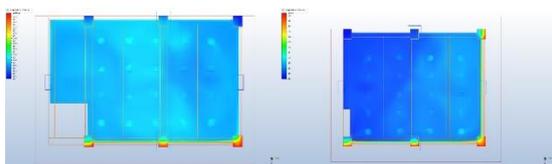


**Gambar 12.** Perbandingan Simulasi *Predicted Mean Vote* antara kelas A dan B Alternatif 2

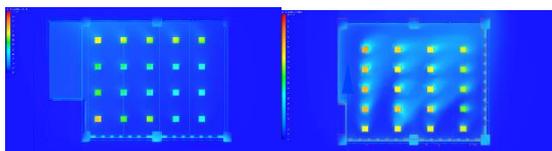
Perbandingan hasil simulasi *Predicted Mean Vote* antara kelas A dan B (gambar 12) memperlihatkan bahwa ada kemungkinan ruang kelas A lebih nyaman dan dingin daripada ruang kelas B dengan intervensi yang sama yaitu penambahan material dinding dan langit-langit. Ruang kelas A hanya memiliki 1 orientasi jendela saja sehingga hal ini berpengaruh pada intensitas besarnya radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan. Berbeda dengan ruang kelas B yang memiliki 2 buah orientasi jendela yang berpotensi untuk memasukkan radiasi matahari yang lebih banyak daripada ruang kelas A. Apabila

dibandingkan dengan kondisi eksisting, ruang kelas A memiliki tingkat penurunan suhu yang signifikan namun tetap dirasa nyaman dan tidak terlalu dingin.

#### F. Perbandingan temperatur antara alternatif 1 dan alternatif 2



**Gambar 13.** Temperatur Alternatif 1 Kelas A (kiri) dan Kelas B (kanan)



**Gambar 14.** Temperatur Alternatif 2 Kelas A (kiri) dan Kelas B (kanan)

Dari keempat grafik tersebut dapat diambil simpulan bahwa alternatif 2 kelas A adalah ruang kelas yang memiliki kualitas kenyamanan termal yang lebih baik daripada yang lain. Kelas A alternatif 2 cenderung netral dan agak dingin dengan suhu ruangan 24-30°C.

Alternatif 1 pada kedua ruang kelas (gambar 13) memiliki kualitas kenyamanan termal yang terlalu dingin (*cold*). Sedangkan, alternatif 2 kelas B (gambar 14) tidak terlalu signifikan perubahannya dengan kondisi eksisting. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena kelas B memiliki 2 buah orientasi jendela arah timur dan utara. Namun demikian, jendela tersebut dapat dibuka tutup untuk memasukkan udara alami untuk menurunkan suhu dalam ruangan.

Jika melihat hasil analisis berdasarkan simulasi BIM di atas dapat dirumuskan bahwa dengan melihat kondisi iklim di Indonesia yang tropis dengan suhu cenderung panas, bangunan dituntut untuk tetap nyaman dalam penggunaannya. Suhu ruang kelas yang terlalu panas dapat menimbulkan gangguan penyakit fisik maupun psikis. Kondisi termal ruang kelas yang nyaman tentunya akan membuat proses pembelajaran mahasiswa menjadi lebih efektif. Dalam penelitian ini, ruang kelas digunakan oleh mahasiswa Program Studi Desain Interior yang melakukan proses pembelajaran setiap hari selama kurang lebih 8

jam (mata kuliah studio perancangan) sehingga penting sekali untuk mengidentifikasi kenyamanan termal mahasiswa di dalam kelas dan memberikan alternatif solusi desain agar dapat mendukung proses pembelajaran menjadi lebih efektif. Bila lingkungan belajar tidak mendukung maka proses penyampaian informasi dan kinerja mahasiswa tidak dapat tercapai secara optimal. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa menyediakan lingkungan yang nyaman dan sehat di ruang kelas diperlukan untuk kesejahteraan dan produktivitas siswa (Bellia dkk., 2010).

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, *Comfort Temperature* dan *Predicted Mean Vote* dapat mengidentifikasi bahwa berdasarkan persepsi pengguna ruangan (dari simulasi *Building Information Modeling* eksisting), Kelas B eksisting memiliki tingkat kenyamanan termal yang lebih baik daripada kelas A sehingga kelas B dapat dikatakan lebih mendukung kenyamanan termal mahasiswa. Dari kedua intervensi (alternatif) yang dilakukan, alternatif 2 (penambahan material pada dinding dan langit-langit) pada kelas A adalah ruang kelas yang memiliki kualitas kenyamanan termal yang lebih baik daripada alternatif yang lain. Kelas A alternatif 2 cenderung netral dan agak dingin dengan suhu ruangan 24-30°C.

Tantangan dan peluang penelitian selanjutnya adalah dapat memberikan alternatif solusi desain yang lain agar kenyamanan termal mahasiswa semakin optimal untuk mendukung pembelajaran. Penelitian selanjutnya dapat didukung pula dengan memberikan kuesioner *thermal sensation vote* (TSV) dan *thermal comfort vote* (TCV) untuk mengetahui kenyamanan termal mahasiswa di ruang kelas dan mengetahui faktor ruang apa saja yang dapat meminimalisasi kondisi termal yang berlebihan. Selain itu, dapat pula membandingkan kenyamanan termal ruang kelas pada lantai yang lebih rendah (posisi bawah).

#### REFERENSI

- Al Horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., Elsarrag, E. 2016. Impact Of Indoor Environmental Quality on °Ccupant

- Well-Being and Comfort: A Review of The Literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 5(1), P. 1. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>
- American Society of Heating and Refrigerating Association of Engineers (ASHRAE). 2010.
- ANSI/ASHRAE. 2017. Standard 55: 2017, Thermal Environmental Conditions for Human occupancy. ASHRAE, Atlanta.
- Bellia, L.; Boerstra, A.; da Silva, M.C.G.; Ianniello, E.; Lopardo, G.; Minichiello, F.; Romagnoni, P.; van Dijken, F. 2010. Indoor Environment and Energy Efficiency in Schools—Part 1; REHVA: Brussels, Belgium.
- Fanger, P.O. 1970. Thermal Comfort. Danish Technical Press. Copenhagen.
- Havenith, H. P. 2022. Personal Factor in Thermal Assesment : Clothing Properties & Metabolic Heat Production, *Journal Energy and Building* Vol 34 Pp 581 – 591. DOI:10.1016/S0378-7788(02)00008-7.
- Mendell, M.J.; Heath, G.A. 2005. Do indoor Pollutants and Thermal conditions in Schools influence Student Performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15, 27–52. [CrossRef] [PubMed].
- National Institute of Building Sciences Buildingsmart Alliance™ National BIM Standard (NBIMS). 2012. United States™ Version 2.
- Nicol, F., Humphreys, M., Roaf, S. 2012. Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice Routledge, London.
- °Ctarino, C.N, Feriadi, H. 2021. Evaluasi Kinerja Selubung Bangunan Gedung Agape Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta. *Jurnal Arsitektur*, Vol. 8, No. 2, Tahun 2021 (E-Issn 2550-1194) Doi: 10.26418/Lantang.V8i2.45436.
- Ormandy, D & Ezratty, V. 2015. Environnement, Risques & Santé 14(3):221-229. DOI:10.1684/Ers.2015.0785. Thermal Discomfort and Health: Protect the Susceptible (Part 2).
- Papadopoulos, A. M. 2005. State of The Art In Thermal Insulation Materials and Aims For Future Developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>.
- Ponni. 2015. A Study on Comfort Temperature and Thermal Efficiency of Buldings. *International Journal of Engineering and Technology (Ijet)*. Vol 7 No 4 Aug-Sep 2015.
- Sarinda, A. 2017 Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal Di Gedung 3 Fkip Universitas Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, Vol 6 No. 3, September 2017, Hal 307
- Wargocki,P. 2006. Effects of HVAC on Student Performance. American Society of Heating, refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Vol. 48, Oct.
- Amoruso, F M, U Dietrich, and T Schuetze. 2019. “Integrated BIM-Parametric Workflow-Based Analysis of Daylight Improvement for Sustainable Renovation of an Exemplary Apartment in Seoul, Korea.” *Sustainability*. <https://www.mdpi.com/460958>.
- Attaufiq, M. 2015. “Simulasi Termal Pada Rumah Adat Di Gorontalo.” ... : *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa* ... 3 (1): 78–88. <https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/view/67%0Ahttps://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/download/67/59>.
- Gautam, Rajnish Kumar, and Ravindra Mohan. 2018. “Thermal Comfort Analysis for Office Room Using Computational Fluid Dynamics: A Review.” *Smart Moves Journal Ijoscience* 4 (10): 8. <https://doi.org/10.24113/ijoscience.v4i10.168>.
- Raczkowski, Andrzej, Zbigniew Suchorab, and Przemysław Brzyski. 2019. “Computational Fluid Dynamics Simulation of Thermal Comfort in Naturally Ventilated Room.” *MATEC Web of Conferences* 252: 04007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925204007>.
- Rahadian, Erwin Yuniar, and Agung Prabowo Sulistiawan. 2020. “The Evaluation of Thermal Comfort Using a BIM-Based Thermal Bridge Simulation.” *Journal of Architectural Research and Education* 1 (2): 129. <https://doi.org/10.17509/jare.v1i2.22304>.
- Tahang. 2016. “Teknik Sistem Simulasi

Termal Bangunan Dengan Menggunakan Perangkat Computing Fluid Dynamic (Cfd).” *Jurnal Ilmiah Techno Entrepreneur Acta, Vol. 1 No. 1, April 2016* 1 (1): 49–54.